

520,760

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



Rec'd PCT/PTO

11 JAN 2005



(43) 国際公開日  
2004 年 1 月 22 日 (22.01.2004)

PCT

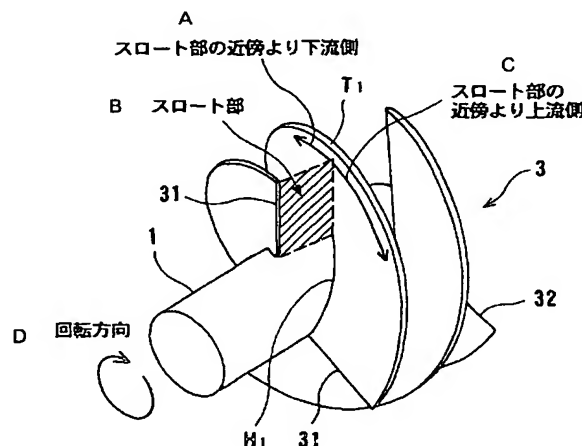
(10) 国際公開番号  
WO 2004/007970 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: F04D 29/18, 29/66 (72) 発明者; および  
(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/008605 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 足原 浩介  
(22) 国際出願日: 2003 年 7 月 7 日 (07.07.2003) (ASHIHARA, Kosuke) [JP/JP]; 〒144-8510 東京都 大  
(25) 国際出願の言語: 日本語 田区 羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作所 内  
(26) 国際公開の言語: 日本語 Tokyo (JP). 後藤 彰 (GOTO, Akira) [JP/JP]; 〒251-8502  
(30) 優先権データ: 特願2002-204734 2002 年 7 月 12 日 (12.07.2002) JP 神奈川県 藤沢市 本藤沢 4 丁目 2 番 1 号 株式会社 荏  
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社 荏原製作所 (EBARA CORPORATION) [JP/JP]; 〒 原総合研究所 内 Kanagawa (JP).  
144-8510 東京都 大田区 羽田旭町 1 1 番 1 号 Tokyo (JP). (74) 代理人: 渡邊 勇, 外 (WATANABE, Isamu et al.); 〒160-  
(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, 0023 東京都 新宿区 西新宿 7 丁目 5 番 8 号 GOWA  
BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, 西新宿 4 階 Tokyo (JP).  
DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI,

[続葉有]

(54) Title: INDUCER, AND INDUCER-EQUIPPED PUMP

(54) 発明の名称: インデューサ及びインデューサ付ポンプ



A...DOWNSTREAM OF THE VICINITY OF THROAT  
B...THROAT  
C...UPSTREAM OF THE VICINITY OF THROAT  
D...DIRECTION OF ROTATION

(57) Abstract: An axial flow type or diagonal flow type inducer (3) disposed upstream of a main impeller (2) in order to improve the suction performance in a pump, such as a turbo pump. In the inducer (3), the blade angle ( $\beta_{bt}$ ) extending from a tip (T1) to a hub (H1) at a blade front edge (31) is substantially equal to the inlet flow angle ( $\beta_{1-t}$ ) in the design point flow rate.

(57) 要約: 本発明は、ターボポンプ等のポンプにおいて吸込性能を向上させるために、主羽根車 (2) の上流側に配置される軸流型又は斜流型のインデューサ (

[続葉有]

WO 2004/007970 A1



NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

- (84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

3) に関するものである。本発明のインデューサ(3)においては、翼前縁(31)におけるチップ(T1)からハブ(H1)にかけての翼角度( $\beta_{bt}$ )が、設計点流量における入口流れ角( $\beta_{1-t}$ )と略同一となるように形成されている。

## 明 細 書

## インデューサ及びインデューサ付ポンプ

## 技術分野

本発明は、インデューサ及びインデューサ付ポンプに係り、特にターボポンプ等のポンプにおいて吸込性能を向上させるために、軸心が主羽根車の軸心と一致するように該主羽根車の上流側に配置される軸流型又は斜流型のインデューサ及びインデューサ付ポンプに関するものである。

## 背景技術

従来から、ポンプの吸込性能を向上させるため、主軸の先端部にインデューサを取り付ける場合がある。例えば、遠心型の主羽根車の上流側に配置されるインデューサは、斜流型又は軸流型であり、通常の羽根車に比べて翼の枚数が少なく、翼長さが長いという形状的特徴を持つ羽根車である。このインデューサは主羽根車の上流側に主羽根車と回転軸が同じになるように配置され、主軸によって主羽根車と同じ回転数で回転される。

従来のインデューサの翼は、ヘリカル形状（らせん形状）に設計され、翼の断面形状においてチップとハブと軸中心とが一直線上に位置する。従来のインデューサの設計手法においては、チップに沿った翼角度のみを設計し、ハブに沿った翼角度はヘリカル条件によって決定される。従来のインデューサの翼前縁におけるチップ翼角度は、設計点流量における入口の流れの軸方向流入速度と翼の周方向速度とから計算される入口流れ角よりも大きく設計される。翼前縁におけるチップ翼角度と入口流

れ角の差の角度を入射角という。この入射角は、通常、前縁の翼角度の35%から50%となるように設計される。そして、インデューサのチップの入口（前縁）から出口（後縁）にかけての翼角度は、インデューサに対して要求される揚程を満たすために、一定とするか、あるいはステップ状に増加、直線的に増加、二次曲線的に増加するように設計される。

このような形状のインデューサを取り付けることによって、翼の入口上流の圧力、すなわちポンプ羽根車の上流部の流体の圧力が低下して局所的に液体の圧力が飽和蒸気圧以下になりキャビテーションが発生した場合でも、このキャビテーションによってスロート部以降の流路が閉塞されることが防止され、キャビテーションが発生しても液体を昇圧することができる。このため、インデューサを主羽根車の上流に配置することにより、遠心型の主羽根車単独の場合に比べてポンプの吸込性能を向上させることができ、ポンプの高速化及び小型化が可能になる。

しかしながら、上述したように、従来のインデューサにおいては、翼前縁におけるチップ翼角度が設計点流量における入口の流れに対して入射角を持ち、入口から出口にかけてのチップの翼角度の分布が一定又は増加する形状に設計されているため、インデューサの入口付近に負荷が集中し、入口逆流が生じやすい傾向がある。また、設計点流量より小さい流量である部分流量域でポンプを運転した場合には、インデューサの入口における入射角は大きくなるので、入口に発生する逆流の規模も大きくなる。キャビテーションが発生した状態で入口逆流が発生すると、キャビテーションが上流側の部材と干渉し、この部材がキャビテーションの衝撃圧によって損傷してしまう。

また、入口逆流の内部でキャビテーションの発生と消滅が低い周波数

で繰り返される現象が生じ、ポンプ全体に大きな振動が生じる。更に、液体水素用のポンプにおいては、吸込性能を向上させる作用を有する水素の熱力学的効果が入口逆流によって低減され、ポンプの吸込性能が低下してしまう。

このような観点から、入口逆流の発生を抑えたインデューサの設計が実用上の重要課題になっている。従来から、吸込性能と要求揚程を満たすために、インデューサの翼角度や翼長さ、翼枚数、翼先端形状などを改良することは行われているものの、入口逆流を抑えるためにインデューサの翼形状を改良することは現在まで行われていない。したがって、要求された揚程と吸込性能とを満たしつつ、入口逆流の発生を抑えたインデューサは未だ開発されていないのが現状である。

#### 発明の開示

本発明は、このような従来技術の問題点に鑑みてなされたもので、要求された揚程と吸込性能とを満たしつつ、入口逆流の発生を抑えた信頼性の高いインデューサ及びインデューサ付ポンプを提供することを目的とする。

このような従来技術における問題点を解決するために、本発明の第1の態様は、主羽根車の上流側に配置されるインデューサにおいて、翼前縁におけるチップからハブにかけての翼角度が、設計点流量における入口流れ角と略同一となるように形成されていることを特徴とするインデューサである。

このように、翼前縁における翼角度が入口流れ角と略同一となるようにすることで、設計点流量から部分流量にかけて流れの入射角が小さくなるので、入口逆流を効果的に抑制することが可能となる。

本発明の好ましい一態様は、翼前縁から翼後縁にかけての上記チップ上の翼角度分布は、スロート部の近傍から上流側において、上記スロート部の近傍から下流側に比べて上記翼前縁に向かって上記翼角度の減少率が大きくなっており、上記スロート部の近傍から無次元流れ方向距離0.9近傍までは、上記スロート部の近傍から上流側に比べて上記翼角度の変化率が小さくなっていることを特徴としている。ここで、スロート部とは、翼の負圧面と隣の翼とで形成される流路の入口部分のことである。

このように、スロート部より上流側において、スロート部の近傍から下流側に比べて翼前縁に向かって翼角度の減少率を大きくし、スロート部の近傍から無次元流れ方向距離0.9近傍までは、スロート部の近傍から上流側に比べて翼角度の変化率を小さくすることにより、負荷をチップに沿って全体に分布させながらも負圧面の大きな圧力低下部分をスロート部よりも上流にもってこることができる。したがって、キャビテーションの大半はインデューサの翼の負圧面の前半で生じるようになり、スロート部以降の流路が閉塞されにくくなり、十分な吸込性能を確保することができる。また、チップに沿って翼全体に負荷が分布することにより、十分な揚程を確保することができる。

本発明の好ましい一態様は、翼前縁から翼後縁にかけての上記ハブ上の翼角度分布はスロート部の近傍で変曲点を有し、上記スロート部より上流側において上記翼角度の変化率が小さくなっており、上記スロート部より下流側において流れ方向に沿って上記翼角度の増加率が大きくなっていることを特徴としている。

このように、スロート部より上流側においてハブに沿った流れ方向の翼角度の変化率を小さくし、スロート部より下流側においてハブに沿っ

た流れ方向の翼角度の増加率を大きくすることにより、ハブに沿っても負荷を翼全体に分布させることができ、要求された揚程を確保することができる。

本発明の第2の態様は、回転可能な主軸に取り付けられた主羽根車を備え、上記インデューサを軸心が上記主羽根車の軸心と一致するように該主羽根車の上流側に配置したことを特徴とするインデューサ付ポンプである。

#### 図面の簡単な説明

図1は本発明の一実施形態におけるインデューサを備えたターボポンプの一部分を示す断面図である。

図2は図1に示すインデューサの斜視図である。

図3Aは本発明に係るインデューサのチップ翼角度を示す外観図であり、図3Bはハブ翼角度を示す外観図であり、図3Cは入射角と、入口流れ角、チップ翼角度との関係を示す図である。

図4Aは本発明に係るインデューサの子午面断面図、図4Bは図4Aに示すインデューサの斜視図である。

図5Aは従来のインデューサの子午面断面図、図5Bは図5Aに示すインデューサの斜視図である。

図6Aは、本発明に係るインデューサ及び従来のインデューサの翼前縁から翼後縁にかけてのそれぞれのチップ翼角度分布を示すグラフであり、図6Bはそれぞれのハブ翼角度分布を示すグラフである。

図7A及び図7Bは、本発明に係るインデューサ及び従来のインデューサに関して、インデューサの翼前縁から5mm上流側の位置における設計点流量の75%の流量のときのハブとチップ間の流体の速度分布を

示すグラフであり、図 7 A は流体の周方向速度分布を示し、図 7 B は流体の軸方向速度分布を示す。

図 8 A 及び図 8 B は設計点流量におけるチップに沿った翼面の静圧分布を示すグラフであり、図 8 A は従来のインデューサの静圧分布を示し、図 8 B は本発明に係るインデューサの静圧分布を示す。

図 9 A 及び図 9 B は、本発明に係るインデューサ及び従来のインデューサに関して、設計点流量の 75% の流量のときの流体の速度分布を測定した結果を示すグラフであり、図 9 A は流体の周方向速度分布を測定した結果を示し、図 9 B は流体の軸方向速度分布を測定した結果を示す。

図 10 は本発明に係るインデューサ及び従来のインデューサについて、設計点流量の 75% の流量における吸込性能を測定した結果を示すグラフである。

図 11 A 及び図 11 B は設計点流量の 75% の流量、キャビテーション係数 0.08 のときの翼前縁より上流側のキャビテーション発生状態を示す模式図であり、図 11 A は従来のインデューサを示し、図 11 B は本発明に係るインデューサを示す。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下、本発明に係るインデューサ及びインデューサ付ポンプの実施形態について図面を参照して詳細に説明する。図 1 は本発明の一実施形態におけるインデューサを備えたターボポンプの一部分を示す断面図であり、図 2 は図 1 に示すインデューサの斜視図である。図 1 に示すターボポンプは、回転可能な主軸 1 と、主軸 1 に取り付けられた主羽根車 2 と、主羽根車 2 の上流側に配置されるインデューサ 3 とを備えている。インデューサ 3 の軸心は主羽根車 2 の軸心と一致しており、インデューサ 3



は主軸 1 の回転に伴って主羽根車 2 と同一回転速度で回転するようになっている。インデューサ 3 は複数枚の翼を備えており、図 2 では 3 枚の翼を備えたインデューサが示されている。

ポンプの作動流体は、図 1 の矢印 F で示される方向からインデューサ 3 に流入する。インデューサ 3 に流入した作動流体は、インデューサ 3 内でキャビテーションを発生しながら昇圧され、更に下流の主羽根車 2 でポンプの要求揚程まで昇圧される。このとき、インデューサ 3 により、主羽根車 2 の中でキャビテーションが発生しない圧力まで作動流体が昇圧されるので、主羽根車 2 単独のときよりもポンプの吸込性能が向上する。

ここで、本発明に係るインデューサ 3 は、以下のような形状的特徴を有するものである。

(1) 翼前縁 3 1 におけるチップ T 1 からハブ H 1 にかけての翼角度が、設計点流量における入口流れ角と略同一となるように形成されている。

(2) 翼前縁（入口） 3 1 から翼後縁（出口） 3 2 にかけてのチップ T 1 上の翼角度分布は、スロート部の近傍から上流側において、スロート部の近傍から下流側に比べて翼前縁 3 1 に向かって翼角度の減少率が大きく、スロート部の近傍から無次元流れ方向距離 0.9 近傍までは、スロート部の近傍から上流側に比べて翼角度の変化率が小さくなっている。ここで、チップ T 1 上の翼角度（チップ翼角度）とは、図 3 A の  $\beta_{bt}$  で示される角度を意味する。

(3) 翼前縁（入口） 3 1 から翼後縁（出口） 3 2 にかけてのハブ H 1 上の翼角度分布はスロート部の近傍で変曲点を有し、スロート部より上流側において流れ方向に沿って翼角度の変化率が小さく、スロート部より下流側において翼角度の増加率が大きくなっている。ここで、ハブ H

1 上の翼角度（ハブ翼角度）とは、図 3 B の  $\beta_{bh}$  で示される角度を意味する。なお、図 3 B においては、インデューサの翼部分は点線で示されている。

このような形状的特徴を有する本発明に係るインデューサと従来のインデューサとを以下の条件で実際に設計し、本発明に係るインデューサと従来のインデューサの作用を比較検討した。図 4 A は設計した本発明に係るインデューサ 3 の子午面断面図、図 4 B は斜視図、図 5 A は設計した従来のインデューサ 103 の子午面断面図、図 5 B は斜視図である。

これらのインデューサ 3, 103 の設計において、設計点要項は、回転数  $N = 3000 \text{ min}^{-1}$ 、流量  $Q = 0.8 \text{ m}^3/\text{min}$ 、揚程  $H = 2 \text{ m}$  とし、従来のインデューサ 103 と本発明に係るインデューサ 3 とで要項を同じに設定した。各インデューサ 3, 103 の子午面形状は完全軸流タイプとなっており、図 4 A 及び図 5 A に示す子午面断面図において翼前縁 31, 131 及び翼後縁 32, 132 は流れ方向 F に直角な直線となっている。

いずれのインデューサ 3, 103 についても、チップ T1, T0 の直径  $D_t = 89 \text{ mm}$ 、ハブ H1, H0 の直径  $D_h = 30 \text{ mm}$  とした。また、従来のインデューサ 103 の子午面における軸方向の翼長さ  $L_0 = 50 \text{ mm}$ 、本発明に係るインデューサ 3 の子午面における軸方向の翼長さ  $L_1 = 35 \text{ mm}$  とした。なお、チップに沿った実際の翼長さは、従来のインデューサ 103 と本発明に係るインデューサ 3 とで同一とした。

従来のインデューサ 103 は、翼前縁 131 から翼後縁 132 までを同一の翼角度とした平板ヘリカルインデューサであり、チップ T0 における翼角度は、入射角が翼前縁 131 の翼角度の 35% になるように設計した。一方、本発明に係るインデューサ 3 は、チップ T1 からハブ H

1 にかけての翼前縁 3 1 の翼角度が、設計点流量における入口流れ角と略同一となるように設計した。

ここで、設計点流量での入口流れの軸方向速度  $V_x$  は、インデューサの子午面形状と要項から以下の式 (1) で求められる。

$$V_x = \frac{Q/60}{\frac{\pi}{4}(D_t^2 - D_h^2)} = \frac{0.8/60}{\frac{3.141592}{4}(0.089^2 - 0.030^2)} = 2.42[m/s] \quad \dots (1)$$

インデューサ翼のチップにおける周方向回転速度  $V_{\theta-t}$  は以下の式 (2) により求められる。

$$V_{\theta-t} = \frac{\pi D_t N}{60} = \frac{3.141592 \times 0.089 \times 3000}{60} = 13.98[m/s] \quad \dots (2)$$

チップにおける入口流れ角  $\beta_{1-t}$  は以下の式 (3) により求められる。

$$\beta_{1-t} = \tan^{-1}(V_x/V_{\theta-t}) = \tan^{-1}(2.42/13.98) = 9.82[deg] \quad \dots (3)$$

本発明に係るインデューサ 3 は、チップ T 1 における翼前縁 3 1 の翼角度が、この設計点流量における入口流れ角  $\beta_{1-t}$  と略同一となるように形成されている。一方、従来のインデューサについては、入射角がチップ翼角度  $\beta_{b0-t}$  の 35% となるようにチップ翼角度  $\beta_{b0-t}$  が設計される。ここでいう入射角と、入口流れ角  $\beta_{1-t}$ 、チップ翼角度  $\beta_{b0-t}$  との関係は図 3 C のようになっており、入射角はチップ翼角度  $\beta_{b0-t}$  から入口流れ角  $\beta_{1-t}$  を引いた角度である。すなわち、従来のインデューサにおけるチップ翼角度  $\beta_{b0-t}$  は以下の式 (4) により求められる。

$$\beta_{b0-t} - \beta_{1-t} = 0.35\beta_{b0-t}$$

$$(1 - 0.35)\beta_{b0-t} = \beta_{1-t}$$

$$\beta_{b0-t} = \beta_{1-t} / (1 - 0.35) = 9.82 / 0.65 \doteq 15 [\text{deg}] \quad \dots (4)$$

また、従来のインデューサにおけるハブ翼角度  $\beta_{b0-h}$  は、ヘリカル条件から以下の式 (5) により求められる。

$$\beta_{b0-h} = \tan^{-1} \left( \frac{D_t}{D_h} \cdot \tan \beta_{b0-t} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{0.089}{0.030} \cdot \tan 15 \right) = 38.5 [\text{deg}] \quad \dots (5)$$

図 6 A は、本発明に係るインデューサ及び従来のインデューサの翼前縁から翼後縁にかけてのそれぞれのチップ翼角度分布を示すグラフであり、図 6 B はそれぞれのハブ翼角度分布を示すグラフである。図 6 A および図 6 B において、横軸は子午面の前縁から後縁までの距離で正規化した無次元子午面位置を示しており、図 6 A の縦軸はチップの翼角度、図 6 B の縦軸はハブの翼角度を示している。

図 6 A 及び図 6 B に示すように、本発明に係るインデューサは、翼前縁（入口）から翼後縁（出口）まで翼角度が連続的に変化し、チップとハブの翼角度は異なる変化をする三次元的な翼面形状を有している。翼前縁の翼角度が設計点流量における入口流れ角と略同一となり、かつ要求された要項を満たすインデューサの三次元翼面形状を設計するには、三次元逆解法を用いることが好ましい。この三次元逆解法は 1991 年に UCL (University College London) の Dr. Zangeneh 氏が提唱した手法であり、翼面の負荷分布を規定して、その負荷分布を満たす翼面形状を数値計算により決定する設計手法である。この三次元逆解法の理論の詳細は公知文献 (Zangeneh, M., 1991, "A Compressible Three-Dimen

sional Design Method for Radial and Mixed Flow Turbomachinery Blades", Int. J. Numerical Methods in Fluids, Vol.13, pp. 599-624)に記載されている。

本発明に係るインデューサは、この三次元逆解法により設計した。三次元逆解法において、従来のインデューサと要項が同じになるように全体の負荷を入力し、また、チップとハブの翼前縁での負荷が0となるように負荷分布を入力し、更に、全体的に前方で負荷が集中するような前半負荷分布を入力した。このような三次元逆解法による設計の結果、本発明に係るインデューサは、翼前縁におけるチップからハブにかけての翼角度が、設計点流量における入口流れ角と略同一となるように設計され、流れの入射角が $0^{\circ}$ となる。この翼前縁における翼角度が入口流れ角と略同一となる形状的特徴により、設計点流量から部分流量にかけて流れの入射角が小さくなるので、入口逆流を効果的に抑制することが可能となる。

また、本発明に係るインデューサの翼前縁から翼後縁にかけてのチップ上の翼角度分布は、図6Aに示すように、スロート部の近傍から上流側において、スロート部の近傍から下流側に比べて翼前縁に向かって翼角度の減少率が大きく、スロート部の近傍から無次元流れ方向距離0.9近傍までは、スロート部の近傍から上流側に比べて翼角度の変化率が小さくなっている。このように、スロート部より上流側において、スロート部の近傍から下流側に比べて翼前縁に向かって翼角度の減少率を大きくし、スロート部の近傍から無次元流れ方向距離0.9近傍までは、スロート部の近傍から上流側に比べて翼角度の変化率を小さくすることにより、負荷をチップに沿って全体に分布させながらも負圧面の大きな圧力低下部分をスロート部よりも上流にもってこることができる。した

がって、キャビテーションの大半はインデューサの翼の負圧面の前半で生じるようになり、スロート部以降の流路が閉塞されにくくなり、十分な吸込性能を確保することができる。また、チップに沿って翼全体に負荷が分布することにより、十分な揚程を確保することができる。

また、本発明に係るインデューサの翼前縁から翼後縁にかけてのハブ上の翼角度分布は、図 6 B に示すように、スロート部の近傍で変曲点を有し、スロート部の近傍から上流側において、スロート部の近傍から下流側に比べて流れ方向に沿ってハブ翼角度の変化率が小さく、スロート部の近傍から下流側において、スロート部の近傍から上流側に比べてハブ翼角度の増加率が大きくなっている。このように、スロート部より上流側においてハブに沿った流れ方向の翼角度の変化率を小さくし、スロート部より下流側においてハブに沿った流れ方向の翼角度の増加率を大きくすることにより、ハブに沿っても負荷を翼全体に分布させることができ、要求された揚程を確保することができる。

上述した本発明に係るインデューサ及び従来のインデューサについて、コンピュータ流れ解析によってインデューサまわりの流れ場を解析した。以下、これらの解析結果について説明する。

図 7 A 及び図 7 B はインデューサの翼前縁から 5 mm 上流側の位置における設計点流量の 75% の流量のときのハブとチップ間の流体の速度分布を示すグラフであり、図 7 A は流体の周方向速度分布を示し、図 7 B は流体の軸方向速度分布を示す。図 7 A および図 7 B において、横軸はハブからチップまでの距離で正規化した無次元半径位置を示しており、図 7 A の縦軸は流れの周方向速度をインデューサ翼のチップ周方向速度で正規化した無次元周方向速度、図 7 B の縦軸は流れの軸方向速度をインデューサ翼のチップ周方向速度で正規化した無次元軸方向速度を示し

ている。

図 7 A に示すように、従来のインデューサでは、入口逆流が発生するため、この入口逆流の影響を受けてチップ側の流体の周方向速度が大きくなっている。また、図 7 B に示すように、従来のインデューサでは流体の軸方向速度もチップ付近で負の値となっており、上流へ向かう流れが生じる領域が生じている。

これに対して、本発明に係るインデューサでは、翼前縁におけるチップからハブにかけての翼角度が、設計点流量における入口流れ角と略同一となるように形成されているので、入口逆流が発生しにくくなっており、設計点流量の 75% の流量であっても、従来のインデューサのような入口逆流を示す流体の速度分布は現れていない（図 7 A 及び図 7 B 参照）。

図 8 A は、従来のインデューサについて、設計点流量におけるチップに沿った翼面（圧力面及び負圧面）の静圧分布を示すものであり、図 8 B は、本発明に係るインデューサについて、設計点流量におけるチップに沿った翼面（圧力面及び負圧面）の静圧分布を示すものである。図 8 A および図 8 B において、横軸は子午面の前縁から後縁までの距離で正規化した無次元子午面位置、縦軸は静圧係数を示している。ここで、圧力面は下流側の翼面であり、負圧面は上流側の翼面である。

上述したように、従来のインデューサのチップ翼角度と入口流れ角度との間には入射角があるため、図 8 A に示すように、負圧面の静圧は翼前縁（入口）で大きく低下し、圧力面の静圧と大きく異なっている。従来のインデューサは、このような圧力分布を有していることから、翼前縁（入口）の圧力が低下したとき、翼前縁の近傍で強いキャビテーションが発生するが、スロート部以降の流路は閉塞されないと予測できる。

本発明に係るインデューサでは、図 8 B に示すように、翼前縁（入口）における負圧面の静圧の低下は小さく、スロート部までには翼前縁の静圧のレベルまで回復している。本発明に係るインデューサは、このような圧力分布を有していることから、翼前縁（入口）の圧力が低下したとき、スロート部より上流の翼面に弱いキャビテーションが発生するが、スロート部以降の流路は閉塞されることなく、従来のインデューサと同等の吸込性能を発揮できると予測できる。

また、従来のインデューサにおいては、翼面の負荷（圧力面と負圧面の静圧差）は翼前縁（入口）付近に集中し、下流側ではほとんど負荷がない状態になっている（図 8 A 参照）。これに対して、本発明に係るインデューサにおける翼面の負荷は翼前縁（入口）から翼後縁（出口）まで全体に分布している（図 8 B 参照）。このことから、本発明に係るインデューサは従来のインデューサに比べてチップ翼角度が全体的に小さくなっている（図 6 A 参照）にもかかわらず、従来のインデューサと同等の揚程を発揮できると予測できる。

上述したような従来のインデューサ及び本発明に係るインデューサを実際に製作し、試験装置において、インデューサの翼前縁から 5 mm 上流側の位置で 3 孔ピトー管を用いてハブとチップ間の流体の周方向速度分布と流体の軸方向速度分布とを測定した。図 9 A 及び図 9 B は設計点流量の 75% の流量のときの流体の速度分布を示すグラフであり、図 9 A は流体の周方向速度分布を示し、図 9 B は流体の軸方向速度分布を示す。図 9 A および図 9 B において、横軸はハブからチップまでの距離で正規化した無次元半径位置を示しており、図 9 A の縦軸は流れの周方向速度をインデューサ翼のチップ周方向速度で正規化した無次元周方向速度、図 9 B の縦軸は流れの軸方向速度をインデューサ翼のチップ周方向



速度で正規化した無次元軸方向速度を示している。

図 9 A 及び図 9 B に示すように、従来のインデューサでは、入口逆流が発生するため、この入口逆流の影響を受けてチップ側の流体の周方向速度が大きくなり、また、流体の軸方向速度もチップ付近で負の値となっており、上流へ向かう流れが生じる領域が生じることが確認された。これに対して、本発明に係るインデューサでは、設計点流量の 75 % の流量であっても、従来のインデューサのような入口逆流を示す流体の速度分布は確認されなかった。これらの結果から、本発明に係るインデューサは、従来のインデューサに比べて入口逆流が抑制されていることがわかる。

図 10 は、設計点流量の 75 % の流量における吸込性能の測定結果である。図 10 において、横軸は翼前縁（入口）における圧力レベルを無次元化したキャビテーション係数を示し、縦軸はインデューサの揚程を無次元化した揚程係数を示している。このグラフは、翼前縁（入口）の圧力レベルを低下させていったときのインデューサの揚程の変化を示すものである。キャビテーション係数が小さくなると、インデューサの内部にキャビテーションが発達し、図 10 に示すように揚程が低下する。図 10 に示すグラフにおいて、より低いキャビテーション係数まで揚程係数の低下が起きないほど、ポンプの吸込性能が高いことを表している。

図 10 に示すように、本発明に係るインデューサは、キャビテーション係数が高いときの揚程は従来のインデューサとほとんど同じであり、揚程が急に低下するキャビテーション係数も従来のインデューサとほとんど同じである。この測定結果から、本発明に係るインデューサは、従来のインデューサと同等の揚程及び吸込性能を有していることがわかる。

図 11 A 及び図 11 B は、設計点流量の 75 % の流量、キャビテーシ

ョン係数0.08のときの翼前縁より上流側のキャビテーション発生状態を示す図であり、図1.1Aは従来のインデューサ、図1.1Bは本発明に係るインデューサをそれぞれ示している。

図1.1Aに示すように、従来のインデューサでは、翼前縁（入口）131付近に強いキャビテーション140が発達し、かつ入口逆流によって翼前縁131より上流側にキャビテーション140が存在している。これに対して、本発明に係るインデューサでは、従来のインデューサよりも弱いキャビテーション40が翼前縁（入口）31からスロット部にかけての翼面上に発達するが、翼前縁31より上流側には入口逆流によるキャビテーションはほとんど存在しない。このように、本発明に係るインデューサは、従来のインデューサに比べて入口逆流を抑制する作用を有しており、かつスロット部以降の流路がキャビテーションによって閉塞されることもなく、従来のインデューサと同等の吸込性能を発揮することができる。

これまで本発明の一実施形態について説明したが、本発明は上述の実施形態に限定されず、その技術的思想の範囲内において種々異なる形態にて実施されてよいことは言うまでもない。

上述したように、本発明のインデューサによれば、入口に発生する逆流が抑制され、かつキャビテーションがスロット部より上流に発達し流路を閉塞しにくいので高い吸込性能を維持することができる。また、翼面全体に負荷が分布するため、高い揚程を確保することができる。この結果、本発明のインデューサを遠心型の主羽根車の上流に配置した構成のポンプでは、従来技術では入口逆流により生じていた上流側部材の損傷や振動、吸込性能の低下といった問題が抑制され、ポンプとして高い信頼性を得ることができる。

### 産業上の利用の可能性

本発明は、ターボポンプ等のポンプにおいて吸込性能を向上させるために、主羽根車の上流側に配置される軸流型又は斜流型のインデューサに利用可能である。

## 請求の範囲

1. 主羽根車の上流側に配置されるインデューサにおいて、

翼前縁におけるチップからハブにかけての翼角度が、設計点流量における入口流れ角と略同一となるように形成されていることを特徴とするインデューサ。

2. 翼前縁から翼後縁にかけての前記チップ上の翼角度分布は、スロート部の近傍から上流側において、前記スロート部の近傍から下流側に比べて前記翼前縁に向かって前記翼角度の減少率が大きくなっており、前記スロート部の近傍から無次元流れ方向距離0.9近傍までは、前記スロート部の近傍から上流側に比べて前記翼角度の変化率が小さくなっていることを特徴とする請求項1に記載のインデューサ。

3. 翼前縁から翼後縁にかけての前記ハブ上の翼角度分布はスロート部の近傍で変曲点を有し、前記スロート部より上流側において前記翼角度の変化率が小さくなっており、前記スロート部より下流側において流れ方向に沿って前記翼角度の増加率が大きくなっていることを特徴とする請求項2に記載のインデューサ。

4. 回転可能な主軸に取り付けられた主羽根車を備え、

請求項1乃至3のいずれか一項に記載のインデューサを軸心が前記主羽根車の軸心と一致するように該主羽根車の上流側に配置したことを特徴とするインデューサ付ポンプ。

1/10  
FIG. 1

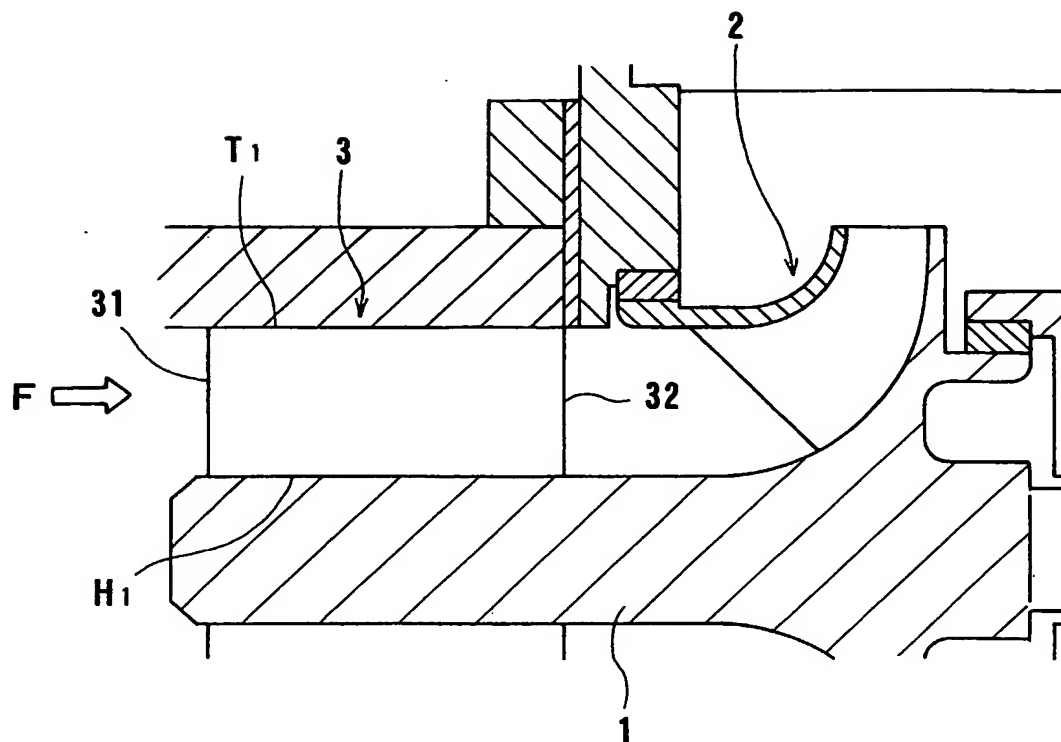


FIG. 2

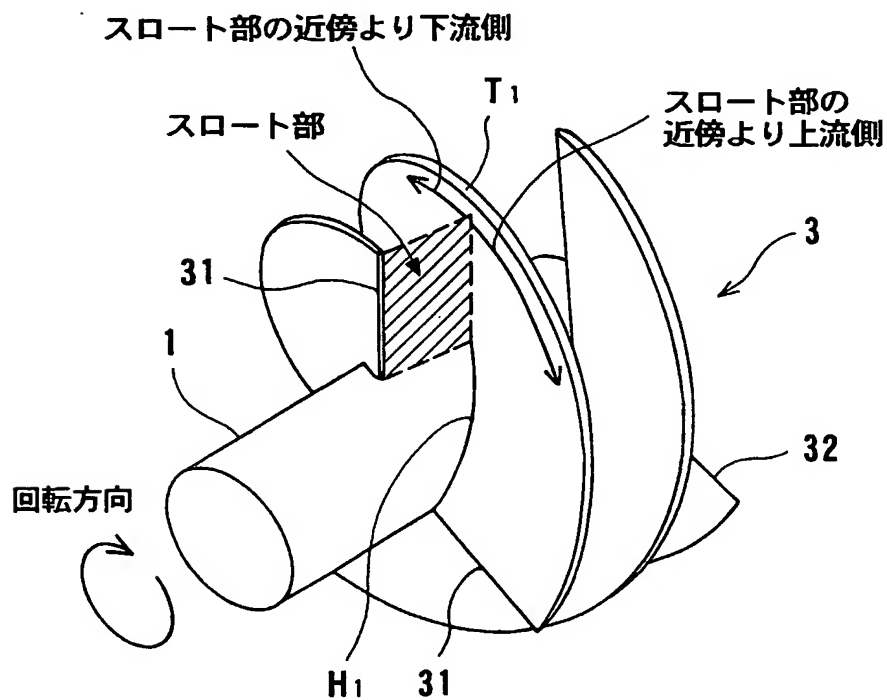


FIG. 3A

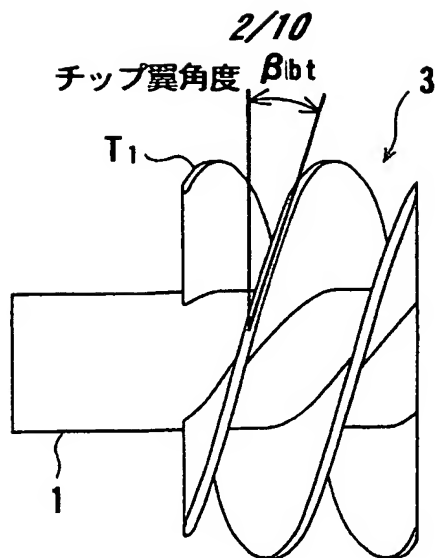


FIG. 3B

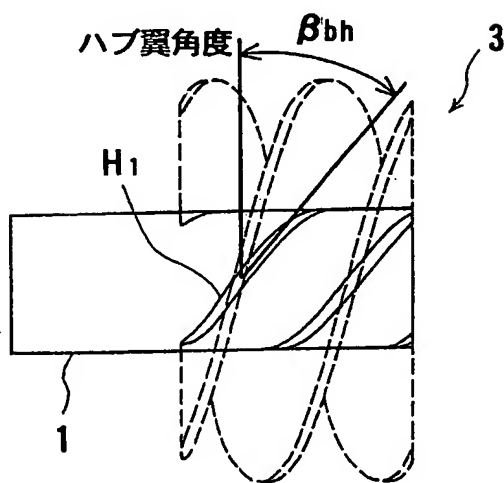
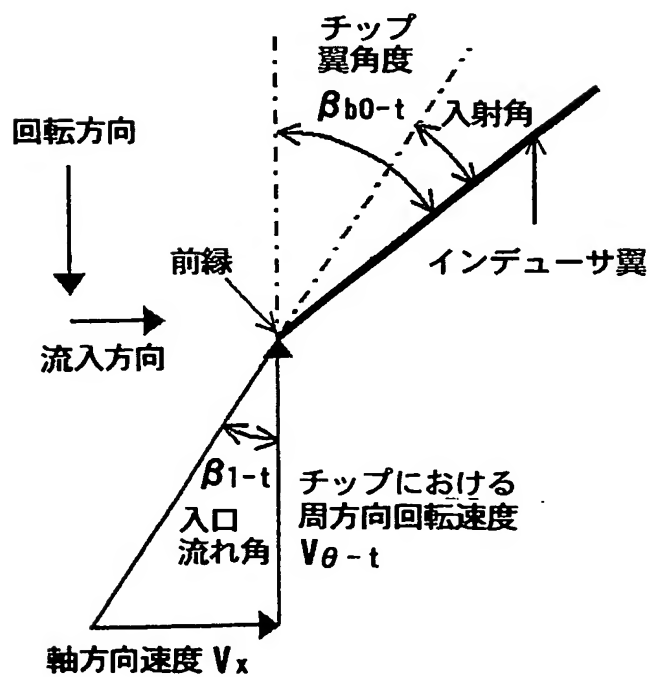


FIG. 3C



3/10

FIG. 4A

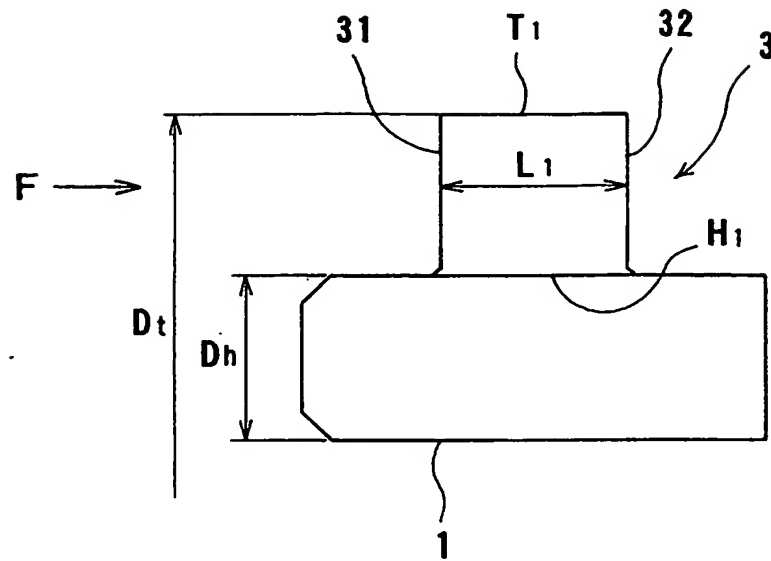
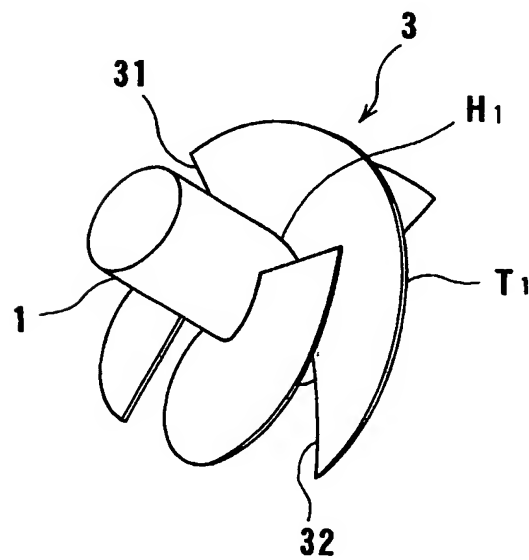
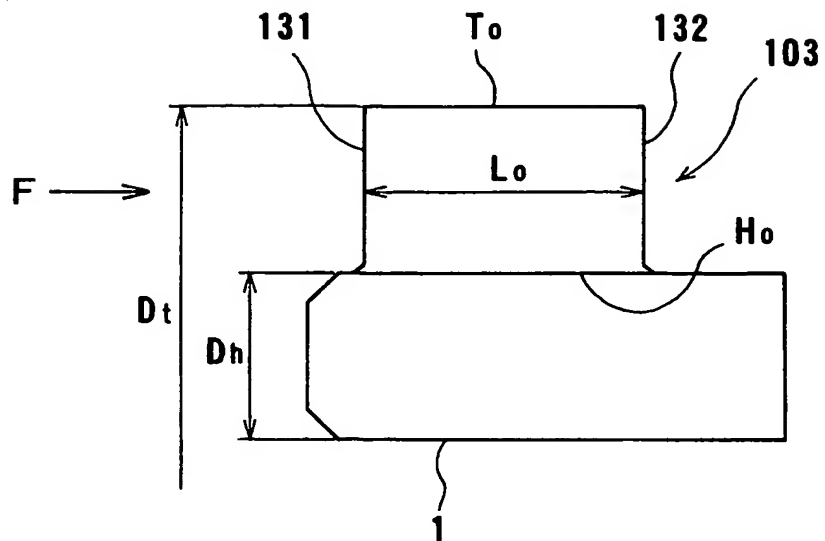
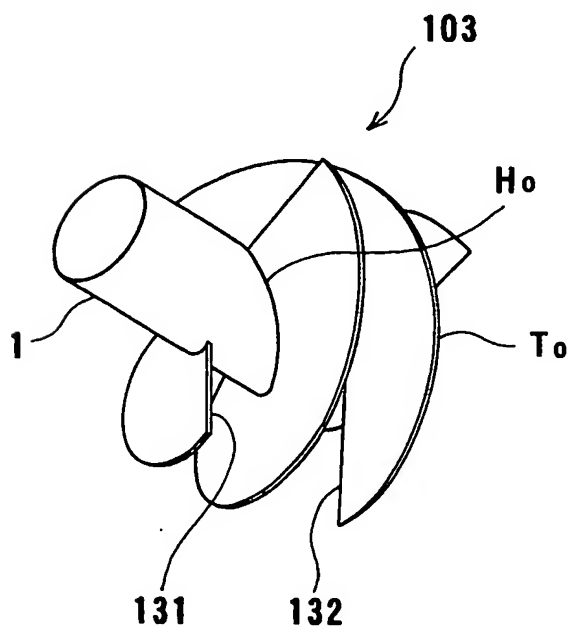


FIG. 4B



4/10

**FIG. 5A****FIG. 5B**



5/10

FIG. 6A

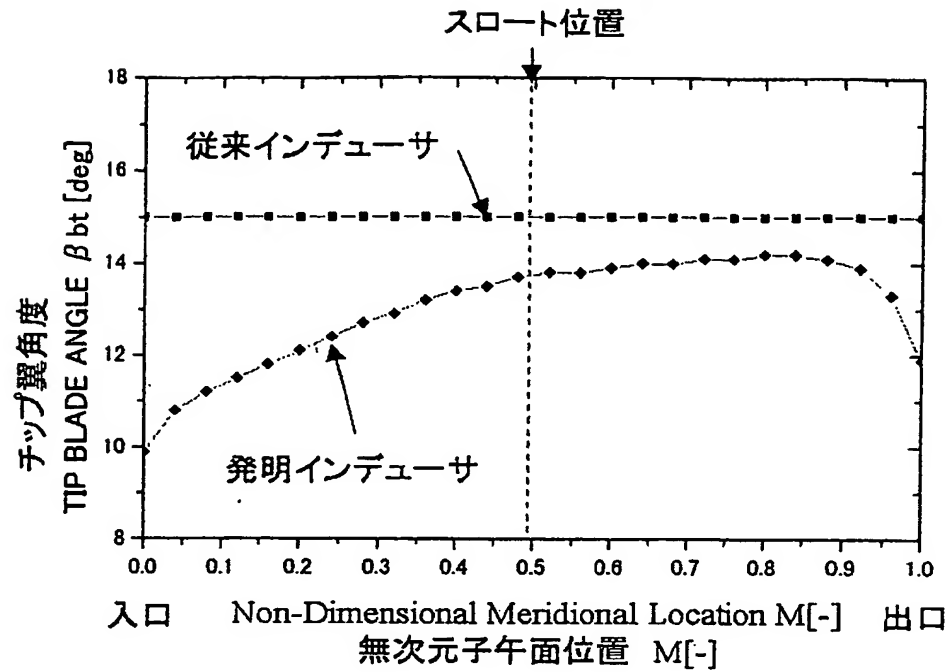
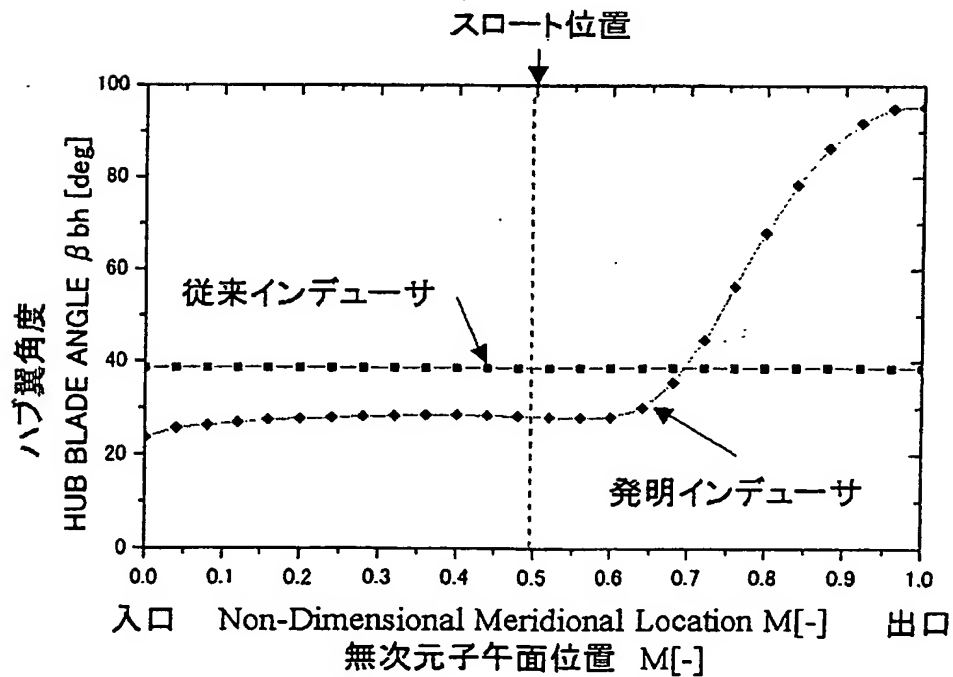


FIG. 6B



6/10

FIG. 7A

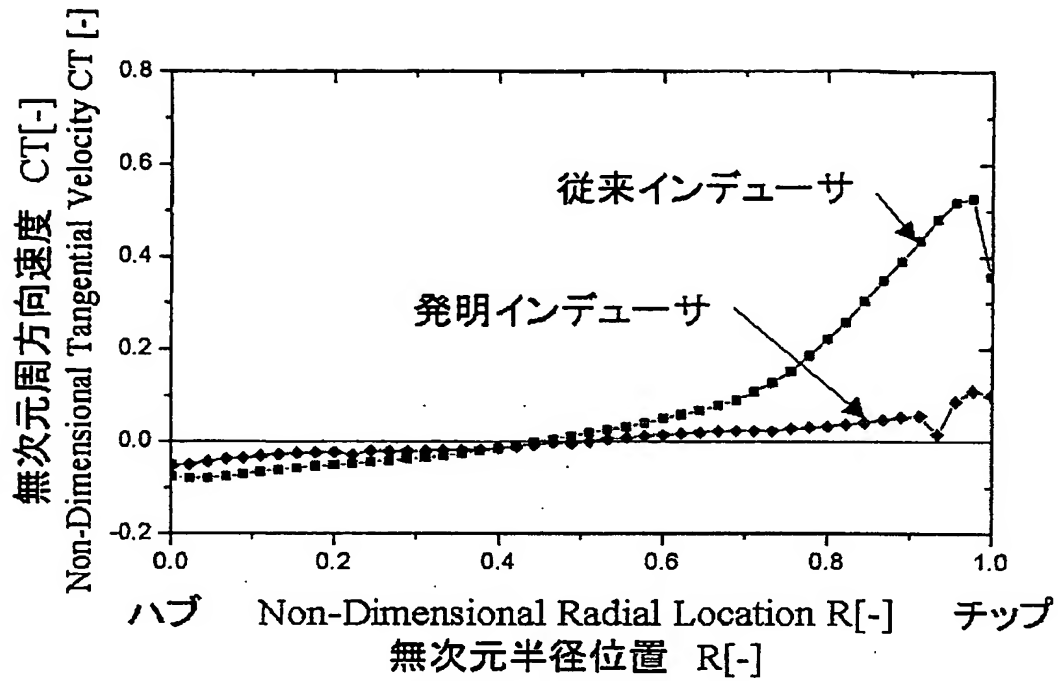
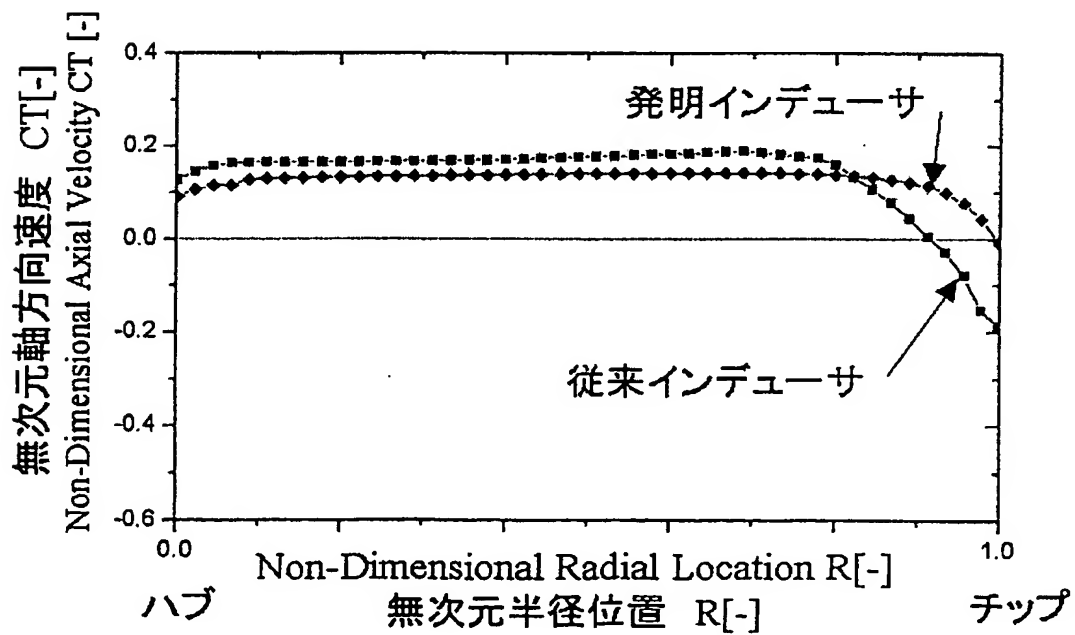


FIG. 7B



7/10

FIG. 8A

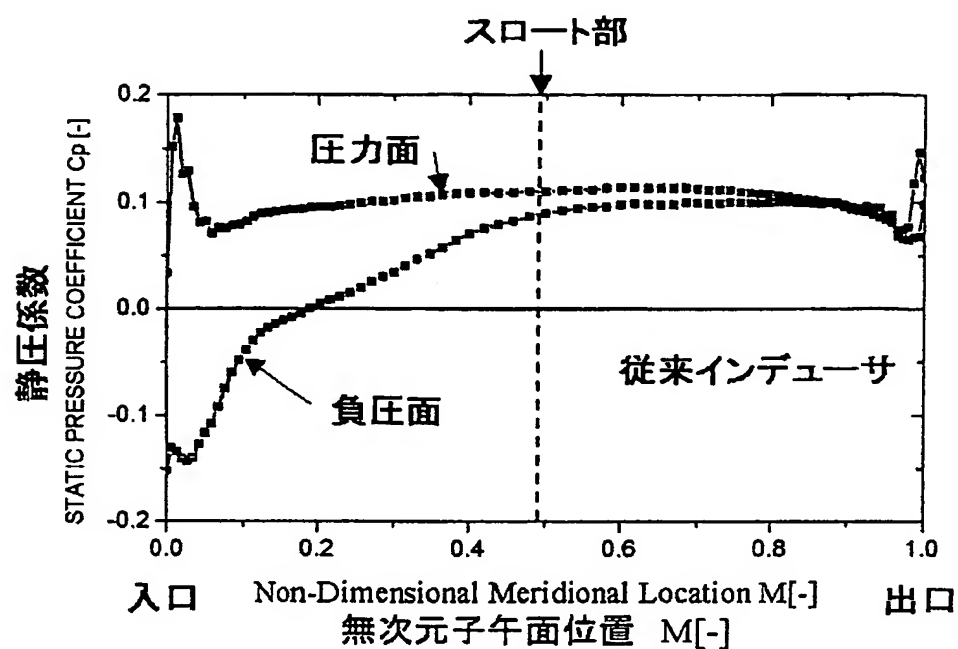
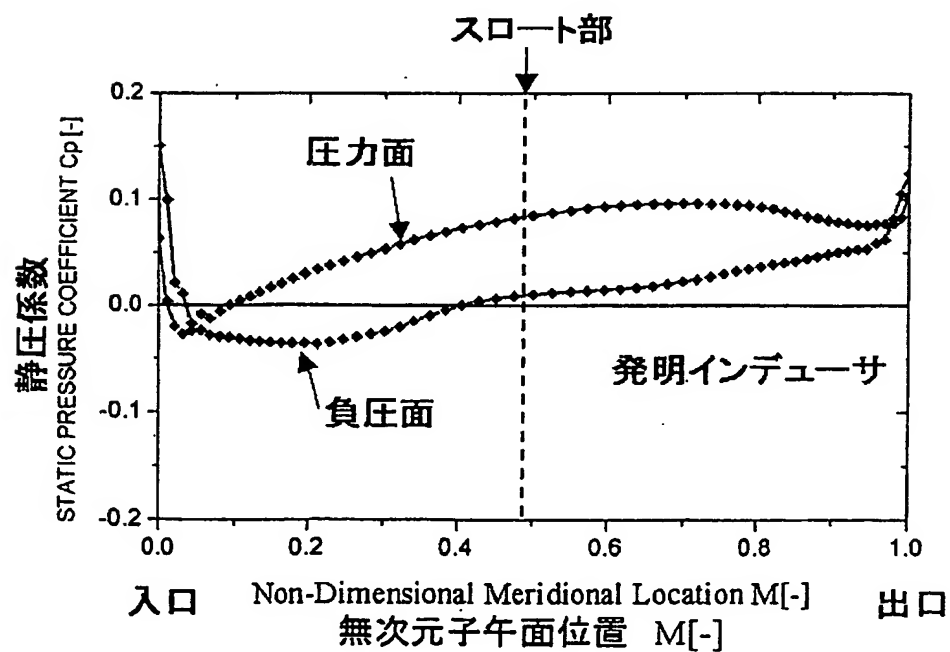


FIG. 8B



8/10

FIG. 9A

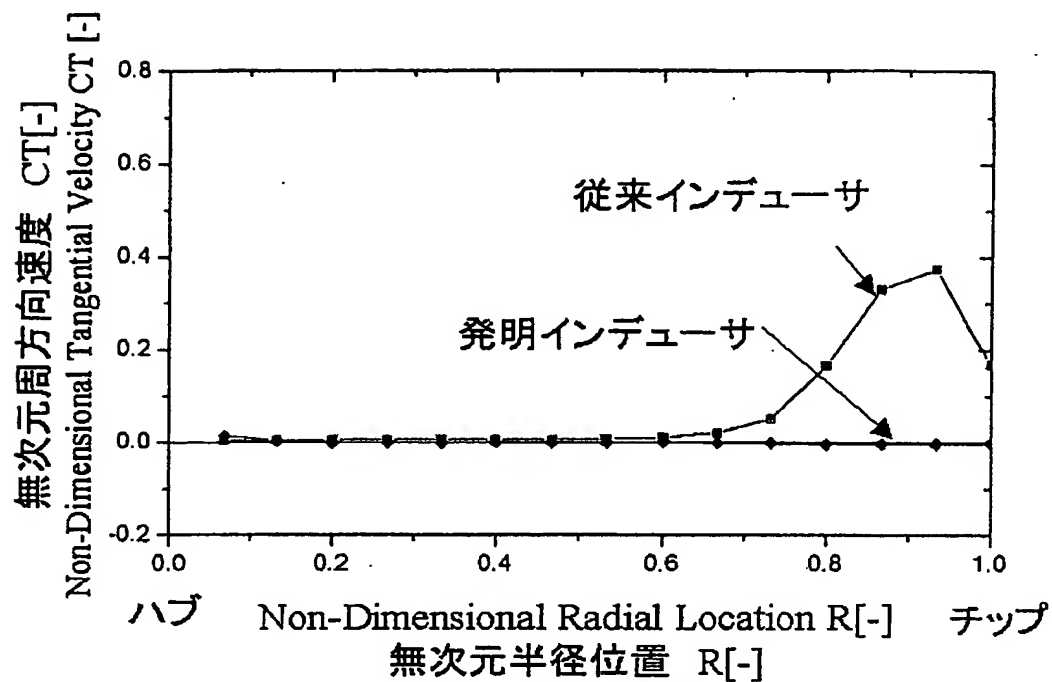
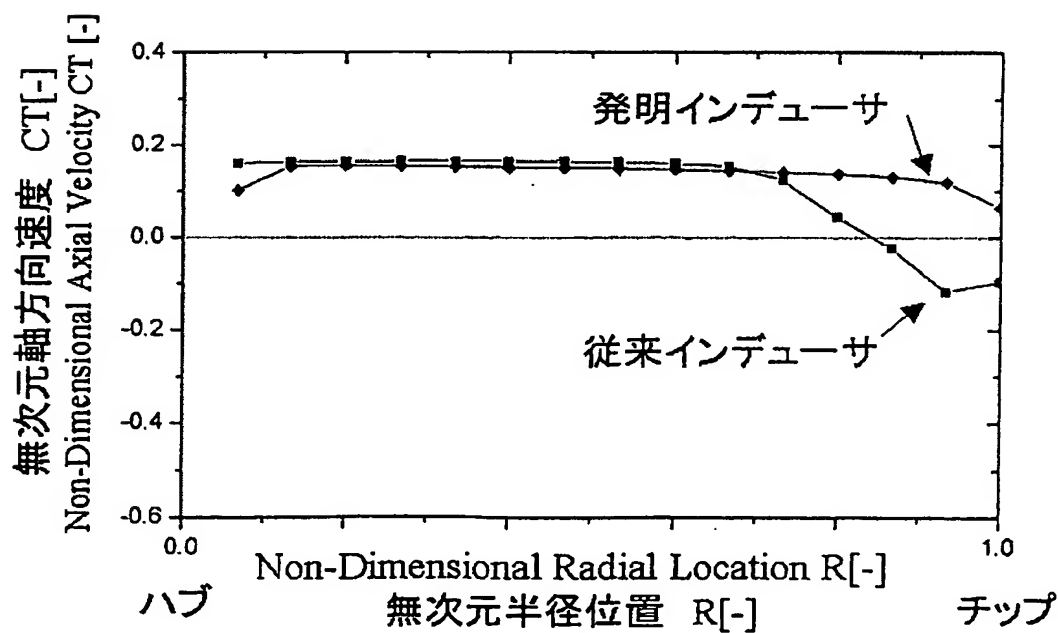
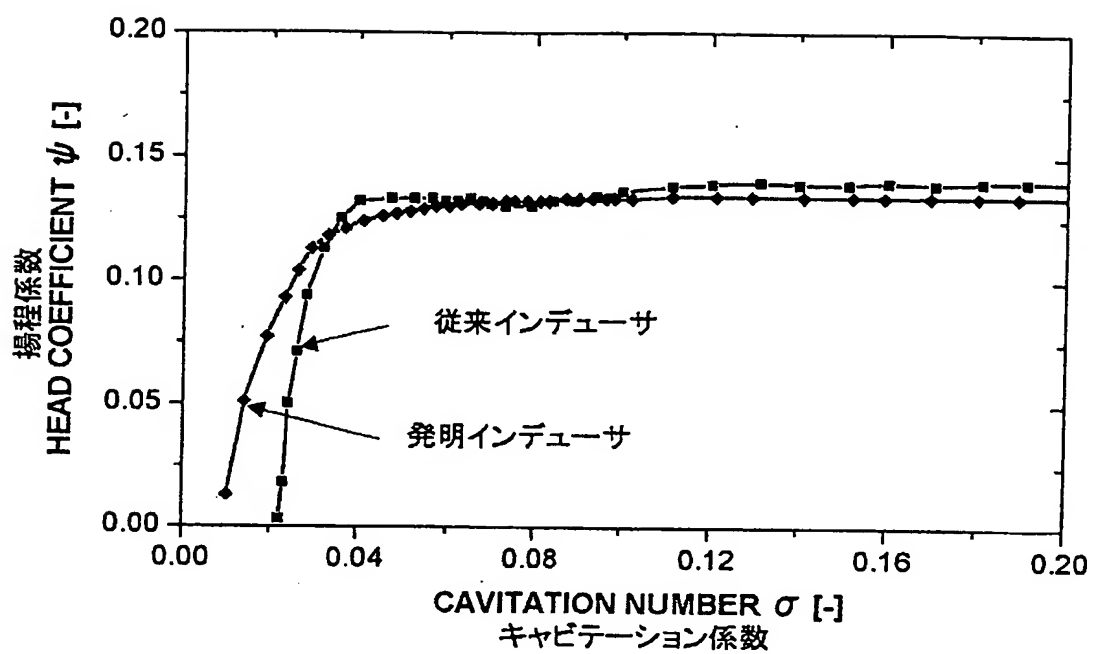


FIG. 9B



9/10

FIG. 10



10/10

FIG. 11A

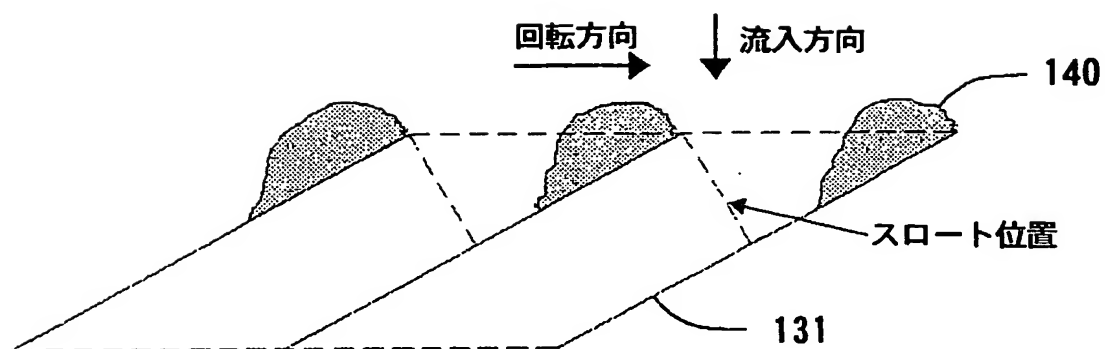
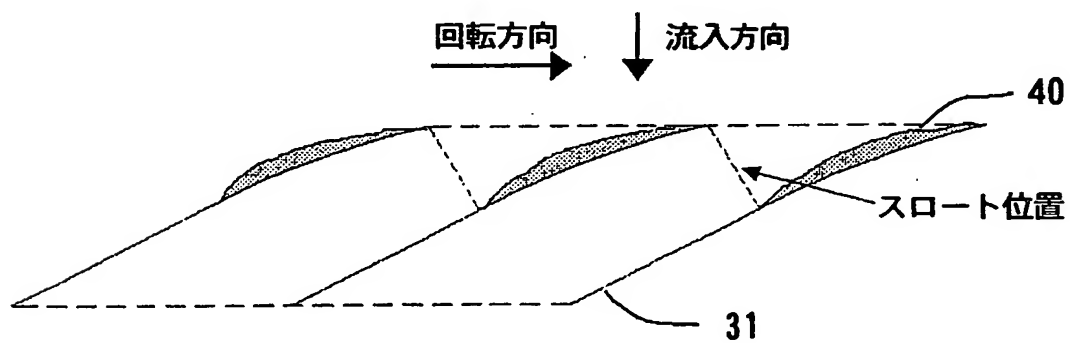


FIG. 11B



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/08605

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> F04D29/18, F04D29/66

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> F04D29/18, F04D29/66

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 1-178800 A (Torishima Pump Mfg.Co., Ltd.), 14 July, 1989 (14.07.89), Page 1, lower right column, lines 11 to 19; Figs. 1 to 13 (Family: none)	1, 4 2-3
Y A	JP 2000-314390 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 14 November, 2000 (14.11.00), Par. No. [0023]; Figs. 1 to 4 (Family: none)	1, 4 2-3
Y A	US 3299821 A (David H. Silvern), 24 January, 1967 (24.01.67), Column 6, lines 38 to 40; Figs. 1 to 15 & DE 1528836 A & GB 1120672 A	1, 4 2-3

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p>
--	---

Date of the actual completion of the international search  
02 October, 2003 (02.10.03)

Date of mailing of the international search report  
21 October, 2003 (21.10.03)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/08605

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 51929/1984 (Laid-open No. 164698/1985) (Hitachi, Ltd.), 01 November, 1985 (01.11.85), Full text; Figs. 1 to 10 (Family: none)	1-4
A	US 3522997 A (Eugeniusz M. Rylewski), 04 August, 1970 (04.08.70), Full text; Figs. 1 to 4 & DE 1931527 A & FR 2014472 A & GB 1266585 A	1-4



## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> F04D29/18, F04D29/66

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> F04D29/18, F04D29/66

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 1-178800 A (株式会社西島製作所)	1, 4
A	1989.07.14, 第1頁右下欄第11-19行, 第1-13 図 (ファミリーなし)	2-3
Y	JP 2000-314390 A (松下電器産業株式会社)	1, 4
A	2000.11.14, 【0023】段落, 第1-4図 (ファミリー なし)	2-3

☒ C欄の続きにも文献が列举されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

02.10.03

国際調査報告の発送日

21.10.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

刈間 宏信

3T 8816

電話番号 03-3581-1101 内線 6268

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	US 3 2 9 9 8 2 1 A (David H. Silvern)	1, 4
A	1 9 6 7. 0 1. 2 4, 第 6 欄第 3 8 - 4 0 行, 第 1 - 1 5 図 & DE 1528836 A & GB 1120672 A	2 - 3
A	日本国実用新案登録出願 5 9 - 5 1 9 2 9 号 (日本国実用新案登 録出願公開 6 0 - 1 6 4 6 9 8 号) の願書に添付した明細書及び図 面の内容を撮影したマイクロフィルム (株式会社日立製作所) 1 9 8 5. 1 1. 0 1, 全文, 第 1 - 1 0 図 (ファミリーなし)	1 - 4
A	US 3 5 2 2 9 9 7 A (Eugeniusz M. Rylewski) 1 9 7 0. 0 8. 0 4, 全文, 第 1 - 4 図 & DE 1931527 A & FR 2014472 A & GB 1266585 A	1 - 4